

Mika Huotari

LF-VASTAANOTIN

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikka
Kevät 2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Mika Huotari	
Työn nimi LF-vastaanotin	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Langaton tiedonsiirto	Ohjaaja(t) Jukka Heino Toimeksiantaja Jukka Heino
Aika Kevät 2007	Sivumäärä ja liitteet 19 + 7
<p>Insinööriyön aiheena oli suunnitella ja rakentaa radiovastaanotin 135-138 kHz:n taajuusalueelle.</p> <p>Vastaanottimen toteutusperiaatteeksi valittiin superheterodyne sen hyvien selektiivisyys- ja herkkyysominaisuuksien sekä haastavuuden vuoksi. Vastaanotin sisälsi RF-vahvistimen, sekoittimen, paikallisoskillaattorin, kaistanpäästösuolettimen, ilmaisimen sekä päätevahvistimen.</p> <p>RF-vahvistin rakennettiin transistoria BC107A käyttäen sen vähäisen kohinan ja herkkyysominaisuuksien vuoksi. Sekoitin ja ilmaisin toteutettiin mikropiiriä SA602 käyttäen. Se sisältää integroidun sekoittimen sekä oskillaattori-piirin. Kyseinen piiri on suunniteltu lähinnä matkaradio käyttöön. Käytettäväksi välitaajuudeksi valittiin 455 kHz. Täten paikallisoskillaattori viritettiin 592 kHz:n taajuudelle. Kaistanpäästösuolettimenä käytettiin Muratan CFK455 keraamista suodinta. Päätevahvistimenä käytettiin operaatiovahvistimella LM741 toteutettua kytkentää. Lisäksi ennen päätevahvistinta rakennettiin häiriöiden poistoa varten 2. asteen alipäästösuolettimen operaatiovahvistinta LF351 käyttäen. Kytkentä rakennettiin toimimaan 12 voltin käyttöjännitteellä, mutta eräät kytkennän osat tarvitsivat 5 voltin käyttöjännitteen. Siksi kytkentään lisättiin myös jänniteregulaattori 7805.</p> <p>Kytkentää testattiin Agilent E4420B signaaligeneraattorilla. Antennituloon syötettiin signaaleja taajuuksien 130 kHz – 140 kHz välillä. Vastaanotin kykeni ilmaisemaan noin mikrovoltin suuruisia antennisignaaleja.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Vastaanotin, 137 kHz, CW
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Mika Huotari	
Title An LF Receiver	
Optional Professional Studies Wireless Data Transmission	Instructor(s) Jukka Heino
	Commissioned by Jukka Heino
Date Spring 2007	Total Number of Pages and Appendices 19 + 7
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design and build a radio receiver for the frequency area between 135 kHz to 138 kHz.</p> <p>The receiver was designed and constructed by using the superheterodyne principle because of its good sensitivity and selectivity properties. It consists of an RF amplifier, mixer, local oscillator, band-pass filter, detector and audio amplifier.</p> <p>The RF amplifier was made by using the BC107A transistor because it has good sensitivity and low noise properties. The mixers and detector were built by using the SA602 IC chip. It has an integrated mixer and an oscillator circuit and it is designed for portable radio circuits. The used intermediate frequency was 455 kHz and the frequency of the local oscillator was around 592 kHz. The band-pass filter was made by using a CFK455 ceramic filter. The operational amplifier LM741 was used as an audio amplifier. Additionally there was a low-pass filter before the audio amplifier to remove disturbing signals. The receiver was designed to use 12 V as an operational voltage, but some parts of the system needed 5 V as the operational voltage. Therefore the voltage regulator 7805 was added to the system.</p> <p>The receiver was tested by using Agilent E4420B signal generator. The signal was fed directly to the antenna circuit. The receiver detected the signals below 1 microvolt on the 137 kHz frequency.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	Receiver, 137 kHz, CW
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Haluan osoittaa kiitokseni kaikille tämän työn onnistuneeseen lopputulokseen vaikuttaneille henkilöille. Kiitokseni ovat ansainneet Jukka Heino, Ismo Talus ja Eero Soininen. Haluan myös kiittää opiskelijatovereitani, jotka kannustivat minua työn suorittamisen aikana.

Kajaanissa 12.4.2007

Mika Huotari

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 RADIOVASTAANOTIN	2
2.1 Radion historiaa	3
2.2 Modulaatiomenetelmät	3
2.3 Varhaiset vastaanotintekniikat	4
2.3.1 Kidekone	4
2.3.2 TRF-vastaanotin	4
2.3.3 Regeneratiivinen ja superregeneratiivnen vastaanotin	5
2.4 Modernit vastaanottotekniikat	6
2.4.1 Suora vastaanotin	6
2.4.2 Superheterodyne	7
3 SUPERHETERODYNEVASTAANOTIN	8
3.1 RF-vahvistin	9
3.2 Sekoitin ja paikallisoskillaattori	9
3.3 Väliatajuussuodatin	9
3.4 Signaalin ilmaisu	10
3.5 Päätevahvistin	10
4 KYTKENNÄN RAKENNUS	11
4.1 Antennipiiri ja RF-vahvistin	11
4.2 Sekoitin ja paikallisoskillaattori	12
4.3 Väliatajuussuodatin sekä vahvistin	14
4.4 Signaalin ilmaisu	14
4.5 Päätevahvistin	15
5 TESTAUS	17
6 YHTEENVETO	18
LÄHTEET	19
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa radiovastaanotin 135,7 – 137,8 kHz:n taajuudelle. Kyseinen taajuusalue on vapautettu radioamatööri toiminnalle ja tällä taajuudella käytetään lähinnä sähkötystä eli CW-moduloituja signaaleja. Tämän taajuuskaistan liikennemuotona on simplex, eli käytössä on vain yksi taajuus.

Vastaanottimen tuli olla mahdollisimman herkkä. Niinpä vastaanottimen toimintaperiaateksi valittiin superheterodyne-periaate, joka on nykyään yleisesti käytetty vastaanottotapa. Sen ominaisuuksiin kuuluu hyvä selektiivisyys ja herkkyys, joten se soveltui hyvin tarkoitukseen.

Työn toteutus jakautui erilaisiin vastaanotintekniikoihin perehtymiseen, kytkennän suunnitteluun, rakentamiseen ja testaukseen.

2 RADIOVASTAANOTIN

Radiovastaanotin on tekninen laite, jolla voidaan vastaanottaa ja ilmaista radiolähetteitä. Radioaaltoja hyväksikäyttäen voidaan informaatiota siirtää paikasta toiseen ilman väliainetta. Radioaallot käsittävät sähkömagneettisen spektrin alle 3000 GHz:n taajuudet. Tämä taajuusalue on jaettu pienempiin osiin taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Radioaaltojen taajuusalueet

Lyhenne	Merkitys	Taajuusalue
ELF	Extremely low frequency	3-30 Hz
SLF	Super low frequency	30-300 Hz
ULF	Ultra low frequency	300-3000 Hz
VLF	Very low frequency	3-30 kHz
LF	Low frequency	30-300 kHz
MF	Medium frequency	300-3000 kHz
HF	High frequency	3-30 MHz
VHF	Very low frequency	30-300 MHz
UHF	Ultra low frequency	300-3000 MHz
SHF	Super low frequency	3-30 GHz
EHF	Extremely low frequency	30-300 GHz

Käytetty taajuusalue vaikuttaa modulaatiomenetelmän valintaan. Radiovastaanottimen toteutukseen on olemassa useita erilaisia tekniikoita, joiden ominaisuudet voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon.

2.1 Radion historiaa

Radio on yli 100 vuotta vanha keksintö. Sitä tosin kutsuttiin alkuaikoina langattomaksi lennättimeksi. James Clerk Maxwell kehitti vuonna 1873 ensimmäisenä sähkömagneettisen aaltoliikkeen teorian. Nikola Tesla teki vuonna 1893 ensimmäisen radiolähetysdemonstraation. Tämä laite sisälsi kaikki radion elementit. Guglielmo Marconi sain vuonna 1896 patentin radiolle. Marconi sai myös vuonna 1909 Nobelin fysiikanpalkinnon ansioista langattoman lennättimen kehittämisessä. Maailman ensimmäinen yleisölle tarkoitettu radiolähetys pidettiin jouluaattona 1906 ja ensimmäiset kaupalliset radiolähetykset alkoivat pian tämän jälkeen. [4]

2.2 Modulaatiomenetelmät

Informaation kantoaaltoon liittämistä kutsutaan modulaatioksi. Tähän on useita erilaisia menetelmiä. Yksinkertaisin näistä on CW eli Continuous wave. Tässä lähetemuodossa informaatio lähetetään katkomalla kantoaaltoa ennalta sovitun koodiin mukaisesti. Yleisin näistä koodista on Morse-koodi.

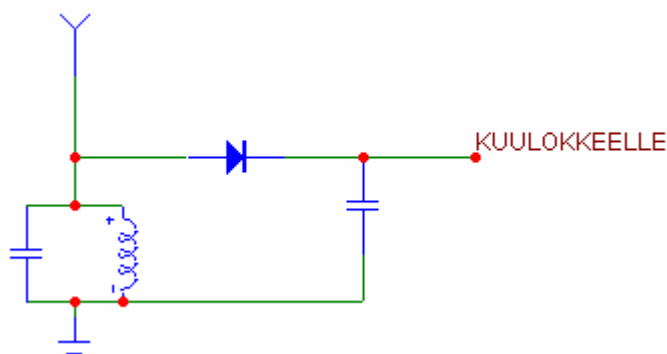
AM eli amplitudimodulaatiossa informaatio on nimensä mukaisesti liitetty signaalin amplitudiin. Menetelmä on yksinkertainen, mutta herkkä häiriöille. AM-modulaatiossa signaali muodostuu kantoaallosta ja kahdesta sivunauhasta, jotka sisältävät molemmat saman informaation. Poistamalla kantoaalto ja toinen sivunauha saadaan aikaan SSB- eli single side band- lähete. Tällöin tarvittava kaistanleveys pienenee huomattavasti. SSB-lähettestä käytetään vaihtelevasti nimityksiä USB ja LSB riippuen siitä kumpi sivunauha on käytössä.

FM eli taajuusmodulaatiossa kantoaallon taajuutta muutetaan määrättyllä taajuusvälillä lähetettävän informaation mukaan. Tämä menetelmä ei ole kovinkaan herkkä häiriöille ja sitä käytetään muun muassa yleisesti ULA-alueen yleisradiolähetyksissä. FM-modulaatio vaatii kuitenkin moninkertaisen kaistanleveyden verrattuna AM- ja SSB-lähetteisiin.

2.3 Varhaiset vastaanotintekniikat

2.3.1 Kidekone

Yksi varhaisimmista ja ehkä yksinkertaisimmista vastaanottotekniikoista on AM-vastaanottoon soveltuva kidekone. Se koostuu antennipiiristä, puolijohteesta, kondensaattorista ja herkästä kuulokkeesta. Sen toiminta perustuu signaalin puolijohteella tapahtuvaan tasasuuntaamiseen. Kondensaattori toimii alipäästösuodattimena, jolloin saadaan aikaan kuulokkeista kuultava audiotajuinen signaali. Antennipiirinä toimii kaistanpäästöresonanssipiiri, joka toteutetaan LC-piirillä. Kidekoneen kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kidekone

Kidekone ottaa kaiken tarvitsemansa tehon antennijännitteestä eikä näin ollen tarvitse ulkoista jännitelähdettä. Tämä on myös kidekoneen heikkous. Se tarvitsee toimiakseen suhteellisen voimakkaan antennisignaalin. Puolijohteelle on ominaista kynnysjännite, jonka alapuolella se lakkaa johtamasta. Tällöin se ei myöskään enää voi tasasuunnata signaalia ja vastaanotto ei onnistu. [1, s. 14.14]

2.3.2 TRF-vastaanotin

TRF tulee sanoista tuned radio frequency eli viritetty radiotaajuudelle. Nimensä mukaisesti se käyttää yhtä tai useampaa viritettyä RF-astetta ennen ilmaisua ja audiovahvistinta. Jokainen viritetty LC-piiri toimii kaistanpäästösuodattimena parantaen näin vastaanottimen selektiivi-

syyttä. Menetelmän etuna on hyvätasoinen äänenlaatu AM-vastaanotossa. TRF-vastaanottotekniikan heikkous on selektiivisyyden muuttuminen vastaanottotaajuutta muuttaessa. Taajuutta nostettaessa selektiivisyys laskee ja viritysalueen alapäässä selektiivisyys voi muuttua liian suureksi suodattaen pois AM-lähteen sivunauhat. [1, s. 14.14-14.15]

2.3.3 Regeneratiivinen ja superregeneratiivnen vastaanotin

Regeneratiivinen vastaanotin on Edwin Howard Armstrongin vuonna 1914 kehittämä vastaanottotekniikka. Regeneratiivisessä vastaanottimessa käytetään positiivista takaisinkytkentää, joka parantaa huomattavasti kytkennän vahvistusta ja selektiivisyyttä. Osa ilmaisimen vahvistetusta signaalista johdetaan takaisin kytkennän sisäänantuloon ja vahvistetaan yhä uudelleen ja uudelleen. Tällöin voidaan saavuttaa jopa 20000-kertainen eli 86 dB:n vahvistus. Menetelmän etuna on myös erittäin hyvä selektiivisyys ja tällöin myös vältetään TRF:ssä esiintyvän usean virityspiirin ongelmalta. Myös tällä vastaanottotekniikalla saadaan aikaan hyvä vähäkohinainen audiosignaali. Menetelmän heikkoutena on käytettävästä modulaatiosta riippuvainen takaisinkytkennän säätö. AM-lähteitä käytettäessä takaisinkytkennän voimakkuus tulee säätää juuri oskillointipisteen alapuolelle. CW- ja SSB-lähteitä käytettäessä takaisinkytkentä tulee säätää oskillointipisteen yläpuolelle, jolloin saadaan aikaan näiden lähetemuotojen tarvitsema beat-signaali.

Superregeneratiivinen vastaanotin on vuonna 1922 kehitetty vastaanottotekniikka. Se on periaatteessa regeneratiivinvastaanottokytkentä lisättynä toisella oskillaattorilla. Tämä oskillaattori tuottaa 20-30 kHz:n taajuista signaalia, joka ohjaa regeneratiivista oskillaattori-ilmaisinta. Tällöin sisään tuleva signaali ehtii toistuvasti nousta oskillointipisteen yläpuolelle. Tällöin saavutetaan erittäin suuri jopa miljoonakertainen eli 120 dB:n vahvistus. Superregeneratiiviset ilmaisimet voivat käyttää tässä ulkoista oskillaattorilähdettä tai tuottaa tämän ohjaussignaalin itse.

Tämä vastaanotintyyppi soveltuu hyvin AM- ja FM-vastaanottoon alemmalta VHF-alueelta aina mikroaaltoalueelle asti. Se on yksinkertainen toteuttaa ja tarjoaa hyvän herkkyyden. Vastaanotintyyppin heikkoutena on suhteellisen suuri kohina. Myös vaikeasti hallittava suuri vahvistus vaatii tarkkaa kytkennän suunnittelua. [1, 14.15-14.16]

2.4 Modernit vastaanottotekniikat

Nykyisistä vastaanottotekniikoista suosituimpia ovat superheterodyne ja suora vastaanotin. Suora vastaanotin oli Bell Labs:n vuonna 1915 kehittämä SSB-kokeilu, jota kutsuttiin tuolloin homodyne-ilmaisimeksi. Superheterodyne-periaatteen kehitti Edwin Howard Armstrong vuonna 1922. Tuolloin tätä menetelmää pidettiin kuitenkin liian kalliina toteuttaa laajemmin.

2.4.1 Suora vastaanotin

Suora vastaanotin sisältää monia samankaltaisuuksia verrattuna regeneratiiviseen vastaanottimeen. Radiotaajuinen signaali muutetaan audiotasoiseksi signaaliksi oskillaattorilla, joka on audiotajuuden verran sivussa vastaanotettavasta taajuudesta. Signaalin kaistanleveyden suodatus tapahtuu audiotajuudella. Signaalit ja kohina oskillointitaajuuden molemmiin puoliin ilmaantuvat audiolähtöön huonontuen kohinasuhtetta.

Suoran vastaanottimen edut verrattuna vanhempiin tekniikoihin verrattuna ovat kuitenkin huomattavat. Tekniikka ei tarvitse regeneratiivisia kytkentöjä. Tämän sijasta käytetään vahvistavaa tai passiivista sekoitinta. Oskillaattoritaajuus tuotetaan erillisellä oskillaattorilla, joka on puskuroinnin kautta kytketty sekoittajaan. Toisin kuin regeneratiivisissa vastaanottimissa suoran vastaanottimen tekniikkaa käytettäessä kytkentä tuottaa hyvin heikkoa audiotajuista signaalia. Tätä signaalia joudutaankin vahvistamaan voimakkaasti jälkikäteen. [1, 14.16]

2.4.2 Superheterodyne

Superheterodynevastaanottimen toiminta muistuttaa TRF-vastaanottimen toimintaperiaatetta, mutta tässä vastaanotintyypissä RF-tasoinen signaali muunnetaan ensin niin kutsutulle välitaajuudelle. Tällä taajuudella tapahtuvat signaalin käsittelyt määräävät suureksi osaksi vastaanottimen selektiivisyyden.

Superheterodynevastaanottimessa radiotaajuinen signaali suodatetaan kaistanpäästösuodattimella ja yleensä vahvistetaan RF-vahvistimella. Sekoitin eli taajuuskonvertteri sekoittaa RF-taajuisen signaalin paikallisoskillaattori taajuuden kanssa. Tuloksena syntyy kaksi välitaajuutta, jotka ovat RF-signaalin ja oskillaattorisignaalin summa- ja erotajuus. Sekoitimen ominaisuuksista riippuen sekoituksessa voi myös syntyä näiden taajuuksien keskeismodulaatio tuloksia, jotka ovat yleensä haitallisia. Yleensä vain yksi syntyneistä taajuuksista otetaan käyttöön. Tämä taajuus ajetaan kaistanpäästösuodattimen läpi ja vahvistetaan. Kaistanpäästösuodattimen kaistanleveys valitaan yleensä käytettävän modulaation perusteella. Pelkkä sähkötysvastaanotto tarvitsee vain pienen kaistanleveyden, kun taas FM-moduloidut signaalit vaativat suuremman kaistanleveyden.

Välitaajuuden käytöllä saavutetaan monia etuja verrattuna muihin vastaanotintekniikoihin. Tätä tekniikkaa käytettäessä kaistanpäästösuodattimen selektiivisyys ja välitaajuusvahvistimen vahvistusominaisuudet säilyvät samana käytettävästä RF-taajuudesta riippumatta.

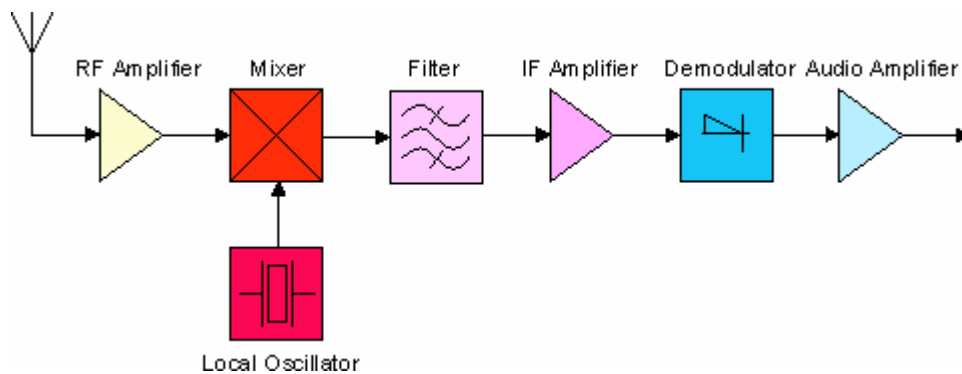
Toista sekoitinta eli ilmaisinta käytetään muuntamaan välitaajuussignaali audiotasoiseksi signaaliksi. Tämä tapahtuu sekoittamalla välitaajuus oskillaattoritaajuuteen, joka eroaa äänitaajuuden verran käytetystä välitaajuudesta. Näiden signaalien erotuksena syntyy audiotasoista signaalia. [1, 14.20]

3 SUPERHETERODYNEVASTAANOTIN

Superheterodyneperiaatteella toteutettu radiovastaanotin sisältää yleensä vähintään seuraavat osat:

- RF-vahvistin
- Sekoitin
- Paikallisoskillaattori
- Välitaajuussuodatin sekä vahvistin
- Signaalin ilmaisu
- Päätevahvistin

Superheterodynevastaanoton periaatekuva on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Superheterodyneperiaate [5]

3.1 RF-vahvistin

RF-vahvistimen tehtäviin kuuluu antennisignaalin vahvistus ja siirtäminen sekoittajalle. Sen käyttövaatimuksiin kuuluu pieni kohina ja tasainen vahvistus käyttöalueellaan. Vahvistimen tulisi olla mahdollisimman herkkä, jotta se pystyy vahvistamaan heikkojakin antennisignaaleja, mutta toisaalta sen on myös kestävä voimakkaitakin signaaleja. RF-vahvistin onkin laitteen herkkyyden kannalta yksi vastaanottimen tärkeimpiä osa-alueita. Sen tehtäviin kuuluu myös paikallisoskillaattorin erottaminen antennista.

3.2 Sekoitin ja paikallisoskillaattori

Sekoitin eli taajuuskonvertteri on elektroninen kytkentä, joka siirtää saapuvat radiotaajuiset signaalit uusille taajuuksille. Uudet taajuudet riippuvat tulosignaalista f_s ja sekoittavasta oskillaattorisignaalista f_o . Sekoitustuloksena syntyvät signaalit ovat näiden taajuuksien summa- ja erotustaajuus, jotka sisältävät molemmat saman informaation. Syntyneistä taajuuksista yleensä vain yksi on tarpeellinen, joten muut syntyneet taajuudet täytyy suodattaa myöhemmin pois. Sekoituksessa voi myös syntyä summa- ja erotustaajuuksien keskeismodulaatiotaajuuksia, jotka ovat yleensä haitallisia. Sekoitin voidaan toteuttaa erilliskomponentein tai tarkoitukseen valmistetulla mikropiirillä.

Paikallisoskillaattori tuottaa sekoittimen tarvitsemaa signaalia antennisignaalin konvertointia varten. Sen värähtelytaajuus valitaan käytettävän radiotaajuuden ja halutun välitaajuuden perusteella. Oskillaattori voidaan rakentaa joko kiinteätaajuiseksi tai siitä voidaan tehdä säädettävä riippuen halutusta taajuusalueesta.

3.3 Välitaajuussuodatin

Välitaajuussuodattimen tehtäviin kuuluu suodattaa sekoittimen tuottamista signaaleista pois ei-halutut taajuudet ja toisaalta päästää haluttu taajuus vaimentumattomana lävitsensä. Suodatus voidaan toteuttaa LC-kaistanpäästösuodattimilla, kiteillä tai tarkoitusta varten valmistetuilla suodattimilla.

Suodattimen käyttövaatimuksiin kuuluu jyrkkä vaimennus päästökaistan ulkopuolella, jotta läheiset radiotaajuudet saataisiin suodatettua pois ja vältetään viereisen kanavan ylikuulumiselta. Suodattimen jyrkkyys voi kuitenkin aiheuttaa myös ongelmia. Kaistanpäästöalueen reunoilla olevat signaalit ja kohina voivat aiheuttaa häiritseviä ääniä vastaanottoon ja häiritsevät varsinkin heikoilla signaalitasoilla. Ongelmaa voidaan lievittää käyttämällä useampaa suodatinta. Suodattimen yhteyteen rakennetaan yleensä myös yksi tai useampia vahvistimia, jotta signaalin käsittely olisi myöhemmin helpompaa.

Suodattimen päästökaistanleveys valitaan käytettävän modulaation mukaan. SSB- ja varsinkin CW-modulaatiota käytettäessä riittää hyvinkin pieni kaistanleveys, kun taas FM-modulaatio vaatii laajamman päästökaistan. [1. s. 14.26]

3.4 Signaalin ilmaisu

Superheterodynevastaanottimissa signaalin ilmaisu tapahtuu yleensä sekoittimella varsinkin CW- ja SSB-vastaanotossa. BFO-oskillaattorilla (Beat Frequency Oscillator) tuotetaan signaalia, joka eroaa äänitaajuuden eli yleensä 1-10 kilohertsia välitaajuudesta. Näiden sekoitustuloksena syntyvä erottaajuus on äänitaajuisia signaalia, joka viedään päätevahvistimeen. Sekoituksessa syntyy myös signaalien summataajuus sekä keskeismodulaatiotaajuuksia, jotka yleensä pyritään suodatetaan signaalista pois ennen päätevahvistimelle viemistä.

3.5 Päätevahvistin

Päätevahvistimen tehtävänä on vahvistaa äänitaajuisia signaalia niin, että se voidaan viedä tarpeeksi voimakkaana kaiuttimelle tai muulle vastaanottavalle laitteelle. Päätevahvistimena käytetään yleensä erilaisia transistorikytkentöjä.

4 KYTKENNÄN RAKENNUS

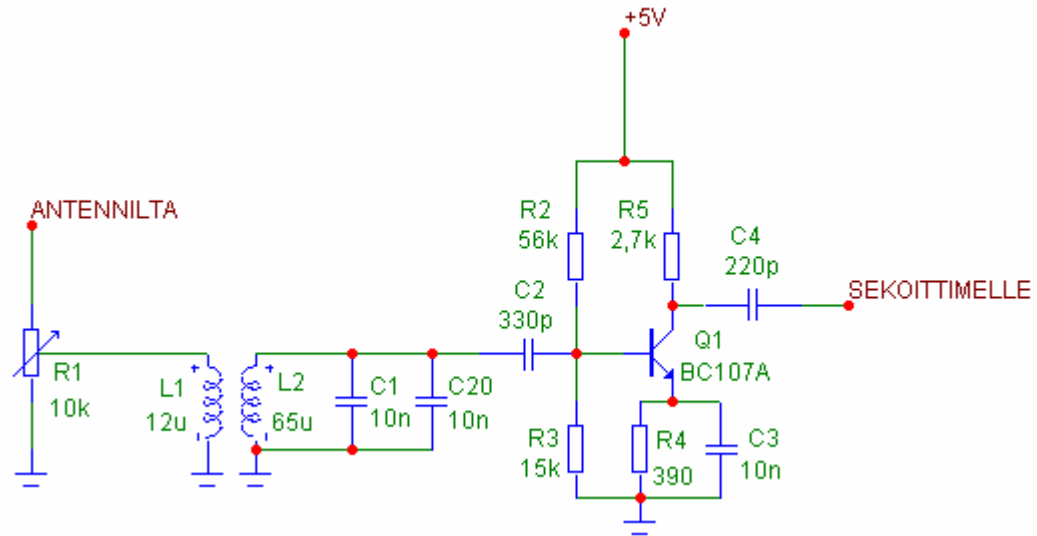
Työhön perehtyminen

Työn suorittaminen aloitettiin perehtymällä erilaisiin vastaanotinperiaatteisiin. Superheterodyneperiaatteeseen päädyttiin sen hyvän herkkyyden, monien eri toteutustapojen ja haastavuuden vuoksi. Vastaanottimen toimintavaatimuksia olivat vähintään 135 – 138 kHz:n toimintataajuus, vähintään 10 μ V:n herkkyyys, 12 voltin käyttöjännite sekä 50 Ω :n sovitus antennille. Työn suorittamista helpotti SA602-mikropiirin käyttäminen, joka sisältää monia vastaanottimen osa-alueita sisäänrakennettuna. Piiri sisältää muun muassa oskillaattorin ja sekoittajan.

4.1 Antennipiiri ja RF-vahvistin

Antennipiirin tehtävänä on sovittaa kytkentä antenniin sekä virittää piiri halutulle taajuusalueelle. Työssä päädyttiin LC-resonanssipiiriin sen yksinkertaisen rakenteen ja toimintavarmuuden vuoksi. LC-piiri koostuu rinnankytketystä kelasta ja kondensaattorista, jotka yhdessä muodostavat resonanssipiirin. Piiri viritettiin 137 kHz:n taajuudelle. Antennipiiriltä signaali johdettiin RF-vahvistimeen.

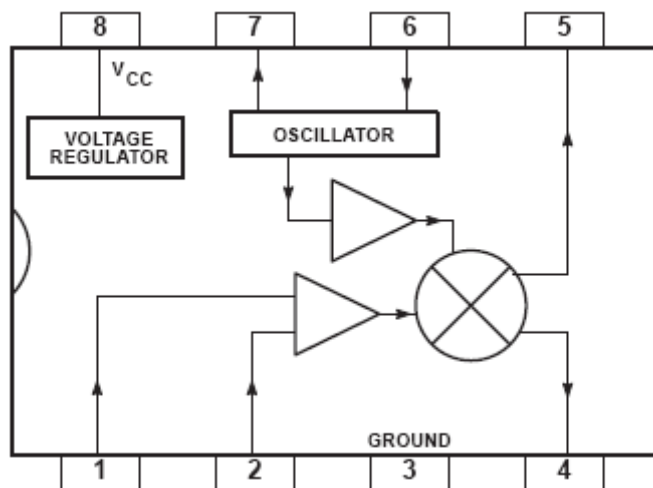
RF-vahvistinkytkennäksi valittiin yksinkertainen transistorivahvistinkytkentä transistoria BC107A käyttäen. BC107A on pienikohinainen NPN-tyypin transistori, joka on tarkoitettu lähinnä audiokäyttöön. Se soveltuu kuitenkin hyvien herkkyyssominaisuuksiensa vuoksi myös RF-vahvistinkäyttöön. Piiri mitoitettiin 5 voltin jännitteelle, joka tuotettiin 7805-regulaattorilla. Antennipiirin ja RF-vahvistimen kytkentäkuva on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Antennipiiri ja RF-vahvistin

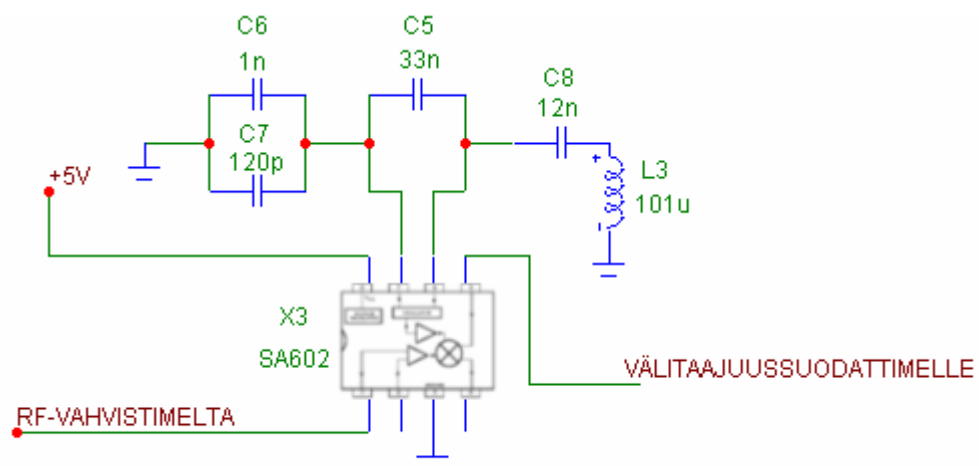
4.2 Sekoitin ja paikallisoskillaattori

Vastaanottimen sekoitin- ja paikallisoskillaattoriosio toteuttamisessa päädyttiin SA602-mikropiiriin (Liite 1). Kyseessä on juuri vastaanotinkäyttöön tarkoitettu mikropiiri, jota voidaan käyttää aina 500 MHz:n taajuuksille asti. Pienen virrankulutuksensa vuoksi se on yleinen esimerkiksi pienikokoisissa matkaradioissa. Piiri sisältää integroidun kaksoisbalansoidun sekoittimen. Tämä sekoitintyyppi on sähköisesti symmetrinen joka suuntaan ja on erittäin suorituskykyinen. Piiri sisältää sisäisen oskillaattoriyhteyden, jonka taajuus määräytyy ulkoisen värähtelypiirin avulla. Tätä voidaan käyttää vastaanottimen paikallisoskillaattorina. Oskillaattorin taajuutta voidaan ohjata joko kiteellä, viritetyllä tankkipiirillä tai ulkoisella taajuuslähteellä. Piirin sisääntulo sisältää myös vahvistimen, joka vahvistaa RF-vahvistimelta tulevaa signaalia. Mikropiirin SA602 sisäinen kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. SA602-mikropiiri [2]

Piirin tarvitsema ulkoinen värähtelypiiri päätettiin toteuttaa Colpitts-tankkioskillaattorikytkentää käyttäen sen tuottaman suhteellisen vakaan ja tasataajuisen signaalin vuoksi. Vastaanotin tuli virittää 137 kHz:n taajuuden lähettyville, joten käytettäväksi välitaajuudeksi valittiin 455 kHz. Näin ollen oskillaattori päädyttiin virittämään 592 kHz:n taajuudelle, koska tällöin sekoitustuloksena syntyy haluttu välitaajuus 455 kHz. Oskillaattori säädettiin tälle taajuudelle sijoittamalla resonanssipiiriin sopivat komponentit ja tarkkailemalla sekoittimen tuottamia taajuuksia Agilent E4411B spektrianalysaattorilla. RF-vahvistimelta saapuva signaali johdettiin piirin pinniin 1 ja oskillaattorin oheiskomponentin pinneihin 6 ja 7. Syntynyt välitaajuussignaali johdettiin piirin pinnistä numero 5 välitaajuus-suodattimelle. Sekoitin sekä oskillaattorikytkentä on esitetty kuvassa 5.

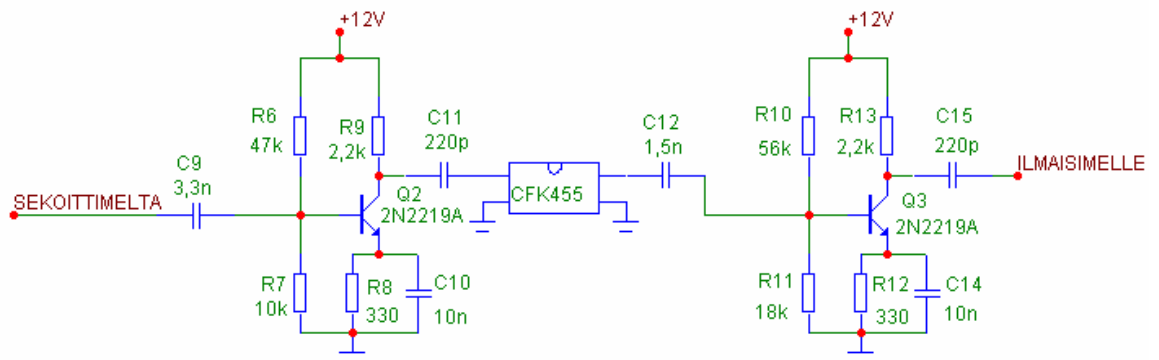


Kuva 5. Sekoitin ja oskillaattorikytkentä

4.3 Välitaajuussuodatin sekä vahvistin

Jotta välitaajuudesta voitaisiin myöhemmin ilmaista haluttu signaali, täytyy siitä suodattaa pois ei-haluttujen taajuuksien sekoitustulokset. Tätä tehtävää varten päädyttiin käyttämään Muratan valmistamaa CFK455-F8 suodinta, jonka 3 dB:n päästökaista oli $\pm 4,2$ kHz. Kyseessä on 455 kHz:n taajuudella toimiva keraaminen kaistanpäästösuoitin, jolla on hyvin voimakas vaimennus estokaistallaan.

Ennen välitaajuuden suodattamista sekoittimelta tulevaa signaalia vahvistettiin, jotta sen käsittely olisi myöhemmin helpompaa. Vahvistus päädyttiin toteuttamaan yksinkertaisella transistorikytkennällä transistoria 2N2219A käyttäen. Oheiskomponentit mitoitettiin 12 voltin käyttöjännitteelle ja sovitettiin kytkentään. Myös suodatuksen jälkeen päätettiin rakentaa vahvistinkytkentä signaalin siirtämiseksi tarpeeksi voimakkaana ilmaisimelle. Tässäkin vahvistinkytkennässä käytettiin transistoria 2N2219A. Kytkentä on esitetty kuvassa 6.

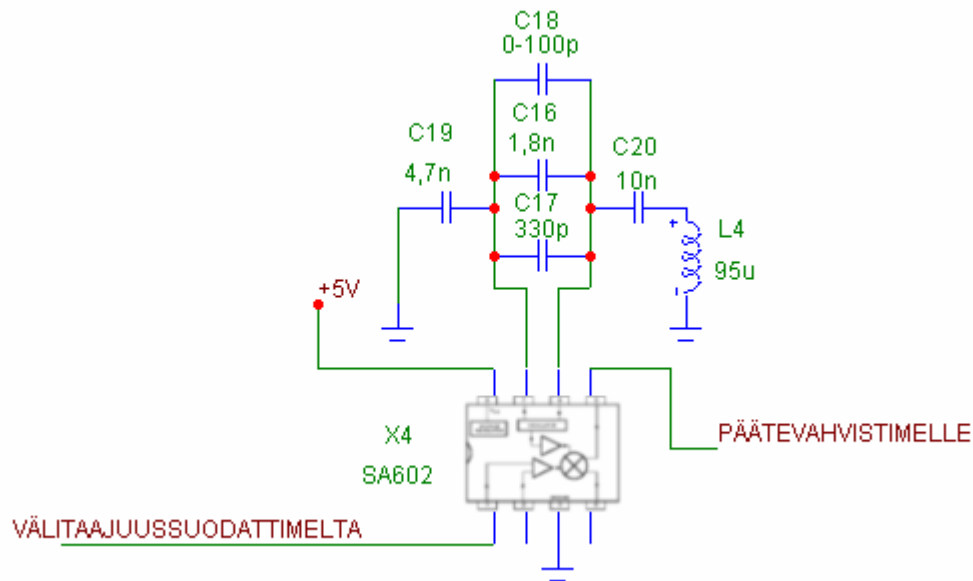


Kuva 6. Vahvistinkytkennät ja välitaajuussuodatin

4.4 Signaalin ilmaisu

Signaalin ilmaisu välitaajuudesta päädyttiin toteuttamaan sekoittimella ja oskillaattorikytkennällä. Sekoittimena käytettiin mikropiirin SA602 sisäistä sekoitinkytkentää sekä ulkoista Colpitts-tankkioskillaattorikytkentää. Jotta 455 kHz:n välitaajuus voitaisiin muuntaa äänitaajuiseksi signaaliksi viritettiin oskillaattori 452 kHz:n taajuudelle. Tällöin sekoitustuloksena syntyi äänitaajuinen 3 kHz:n signaali. Oskillaattorikytkentään lisättiin myös säätökondensaattori.

tori, jotta sekoitustuloksena syntyvän audiosignaalin äänenkorkeutta voidaan muuttaa tarvittaessa. KytKentä on esitetty kuvassa 7.

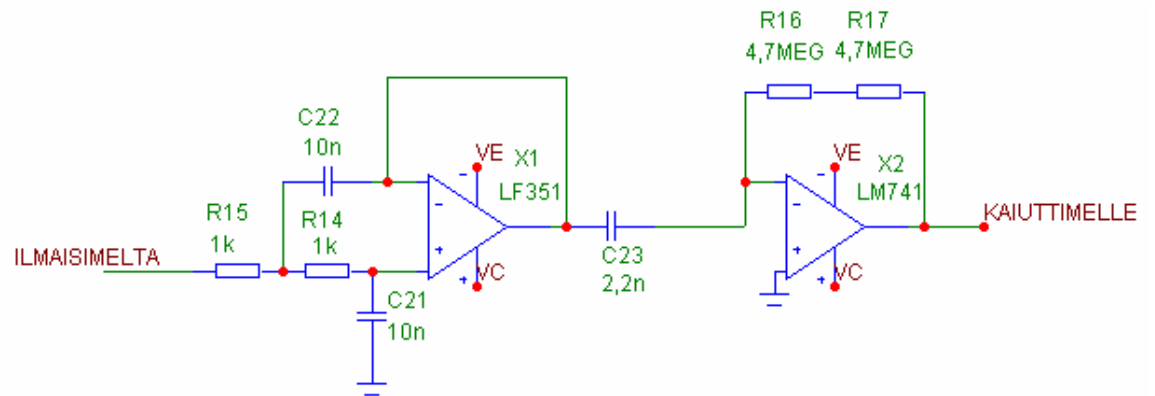


Kuva 7. Ilmaisinkytkentä

4.5 Päätevahvistin

Päätevahvistimen tehtävänä vahvistaa äänitaajuista signaalia, jotta sillä voidaan ohjata passiivikaiutinta. Tätä tarkoitusta varten valittiin operaatiovahvistin sen suuren vahvistuksen ja yksinkertaisen toteutuksen vuoksi. Vahvistus toteutettiin operaatiovahvistimella LM741, jonka vahvistus määritettiin mahdollisimman suureksi (Liite 4). Tämä tehtiin kytkemällä kaksi 4,7 megaohmin vastusta sarjaan piirin invertoivan sisääntulon ja lähdön väliin.

Ilmenneiden häiriösignaalien vuoksi kytkentään lisättiin ennen päätevahvistinta aktiivinen 2. asteen alipäästösuoodin. Tällöin saavutetaan jyrkkä -40dB/dekadin vaimennus päästökaistan ulkopuolille. Tämä toteutettiin operaatiovahvistimella LF351, jonka oheiskomponenteilla suodattimen -6dB:n piste asetettiin noin 15kHz :in[3] (Liite 5). KytKentä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Alipäästösuodin ja päätevahvistin

5 TESTAUS

KytKentä rakennettiin aluksi testausta varten koekytKentäalustalle. Oskillaattorien värähtelytaajuudet tarkistettiin Agilent E4411B spektrianalyzaattorilla ja Agilent 54622D oskilloskoopilla. Testaus suoritettiin syöttämällä Agilent E4420B signaaligeneraattorilla 130-140 kHz:n signaaleja kytkennän antennituloon signaalitasoilla 1 μV – 100 mV. Tällöin kaiuttimesta kuultiin matalataajuinen äänisignaali. Kaiuttimena käytettiin impedanssiltaan 4 Ω :n passiivikaiutinta. Signaalitasoa nostettaessa yli 100 μV :n huomattiin kuitenkin, ettei vastaanotin enää ilmaissut signaalia oikein johtuen liiallisesta vahvistuksesta. Tämän vuoksi antennipiirin ensiöpuolelle lisättiin 10 k Ω :n potentiometri, jolla tulosignaalia voitiin vaimentaa portaattomasti tarpeen mukaan. Tällöin saatiin kuulumaan myös voimakkaammat signaalit.

Myös muita kytkennän osa-alueita tutkittiin oskilloskoopilla ja spektrianalyzaattorilla ja pyrittiin löytämään sekä korjaamaan häiriölähteitä. KoekytKentäalustalla pitkät kytkentäjohdot aiheuttivat häiriöitä. Nämä ongelmat vähenivät, kun kytkentä rakennettiin piirilevyille. Kytkennässä käytetyt komponentit on listattu liitteessä 2 ja kytkentäkaavio on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

6 YHTEENVETO

Rakennettu kytkentä täytti sille asetetut vaatimukset. Vaaditut taajuusalueet kuuluivat ja herkkyyksivaatimukset täyttyivät yli odotusten. Kytkenässä on kuitenkin vielä paljon parantamisen varaa. Audiovahvistusta olisi voinut olla enemmän, koska signaali kuului kaiuttimesta suhteellisen hiljaisesti. Komponenttien paremmalla valinnalla olisi myös saatettu päästä parempaan lopputulokseen. Kytkenää ei myöskään ole vielä testattu oikeissa olosuhteissa. Tehokkaan antennin rakentaminen tälle taajuudelle on hankalaa, koska aallonpituus yli kaksi kilometriä.

Työ vastasi haastavuudeltaan ennakko-odotuksia. Erilaisia kytkentämahdollisuuksia tuli kehitellä useita ennen kuin toimiva ratkaisu löytyi. Kytkenän suunnitteluun, rakentamiseen ja testaamiseen kului aikaa tasan kolme viikkoa. Työn toteuttamista helpotti huomattavasti SA602-piiri, joka sisältää suuren osan vastaanottimen käyttämistä osa-alueista.

Työn suorittamisen olisi voinut aloittaa ehkä hieman aiemmin. Nyt työn suorittaminen aloitettiin neljä viikkoa ennen määräpäivää aiheuttaen hieman kiirettä.

Kaiken kaikkiaan työ vastasi odotuksia ja oli mielenkiintoinen toteuttaa. Työssä oppi paljon uusia asioita radiovastaanotin tekniikasta ja elektroniikasta yleensäkin.

LÄHTEET

1. The ARRL Handbook for radio communications 2005, ISBN 0-87259-928-0
2. SA602-piirin datalehdet (Luettu 12.4.2007)
<http://www.ortodoxism.ro/datasheets/philips/SA612.pdf>
3. Harri Honkanen. SUODATTIMET (Luettu 12.4.2007)
<http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honhar/ma/SUODATTIMET.pdf>
4. Wikipedia, Radion historia (Luettu 12.4.2007) <http://fi.wikipedia.org/wiki/Radio>
5. Wikipedia, Superheterodynevastaanotin (Luettu 12.4.2007)
http://en.wikipedia.org/wiki/Superheterodyne_receiver

LIITTEIDEN LUETTELO

LIITE 1 PIIRIN SA602 DATATIETOJA

LIITE 2 KOMPONENTTILUETTELO

LIITE 3 KYTKENTÄKAAVIO

LIITE 4 PIIRIN LM741 DATATIETOJA

LIITE 5 PIIRIN LF351 DATATIETOJA

Double-balanced mixer and oscillator

SA612A

DESCRIPTION

The SA612A is a low-power VHF monolithic double-balanced mixer with on-board oscillator and voltage regulator. It is intended for low cost, low power communication systems with signal frequencies to 500MHz and local oscillator frequencies as high as 200MHz. The mixer is a "Gilbert cell" multiplier configuration which provides gain of 14dB or more at 45MHz.

The oscillator can be configured for a crystal, a tuned tank operation, or as a buffer for an external L.O. Noise figure at 45MHz is typically below 6dB and makes the device well suited for high performance cordless phone/cellular radio. The low power consumption makes the SA612A excellent for battery operated equipment. Networking and other communications products can benefit from very low radiated energy levels within systems. The SA612A is available in an 8-lead dual in-line plastic package and an 8-lead SO (surface mounted miniature package).

FEATURES

- Low current consumption
- Low cost
- Operation to 500MHz
- Low radiated energy
- Low external parts count; suitable for crystal/ceramic filter
- Excellent sensitivity, gain, and noise figure

PIN CONFIGURATION

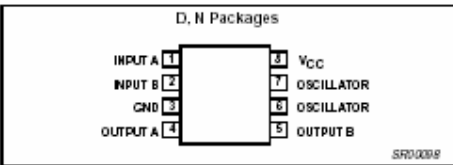


Figure 1. Pin Configuration

APPLICATIONS

- Cordless telephone
- Portable radio
- VHF transceivers
- RF data links
- Sonarbuys
- Communications receivers
- Broadband LANs
- HF and VHF frequency conversion
- Cellular radio mixer/oscillator

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Dual In-Line Plastic (DIP)	-40 to +85°C	SA612AN	SOT97-1
8-Pin Plastic Small Outline (SO) package (Surface-Mount)	-40 to +85°C	SA612AD	SOT96-1

BLOCK DIAGRAM

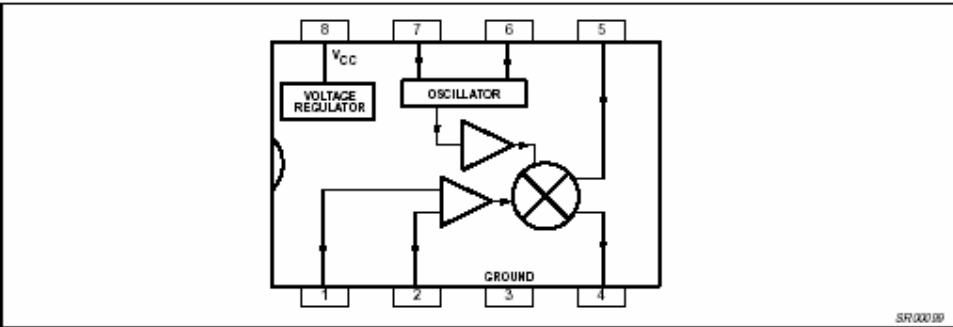


Figure 2. Block Diagram

Double-balanced mixer and oscillator

SA612A

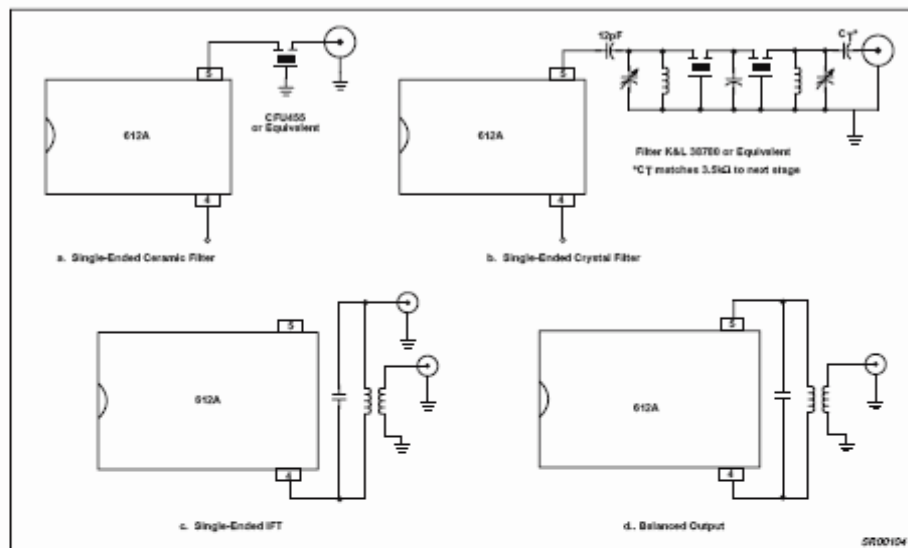


Figure 6. Output Configuration

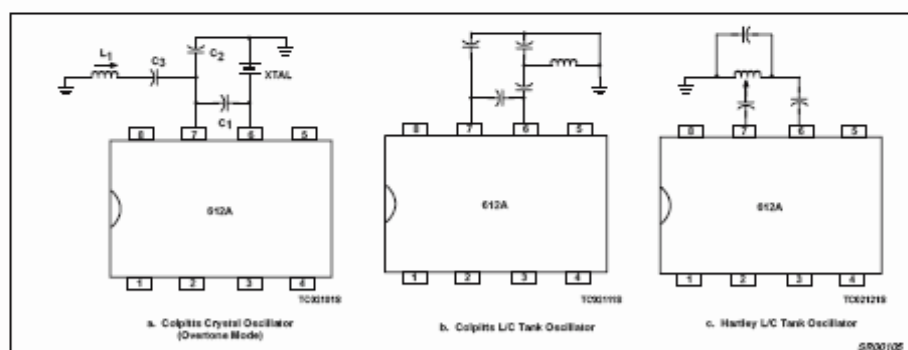
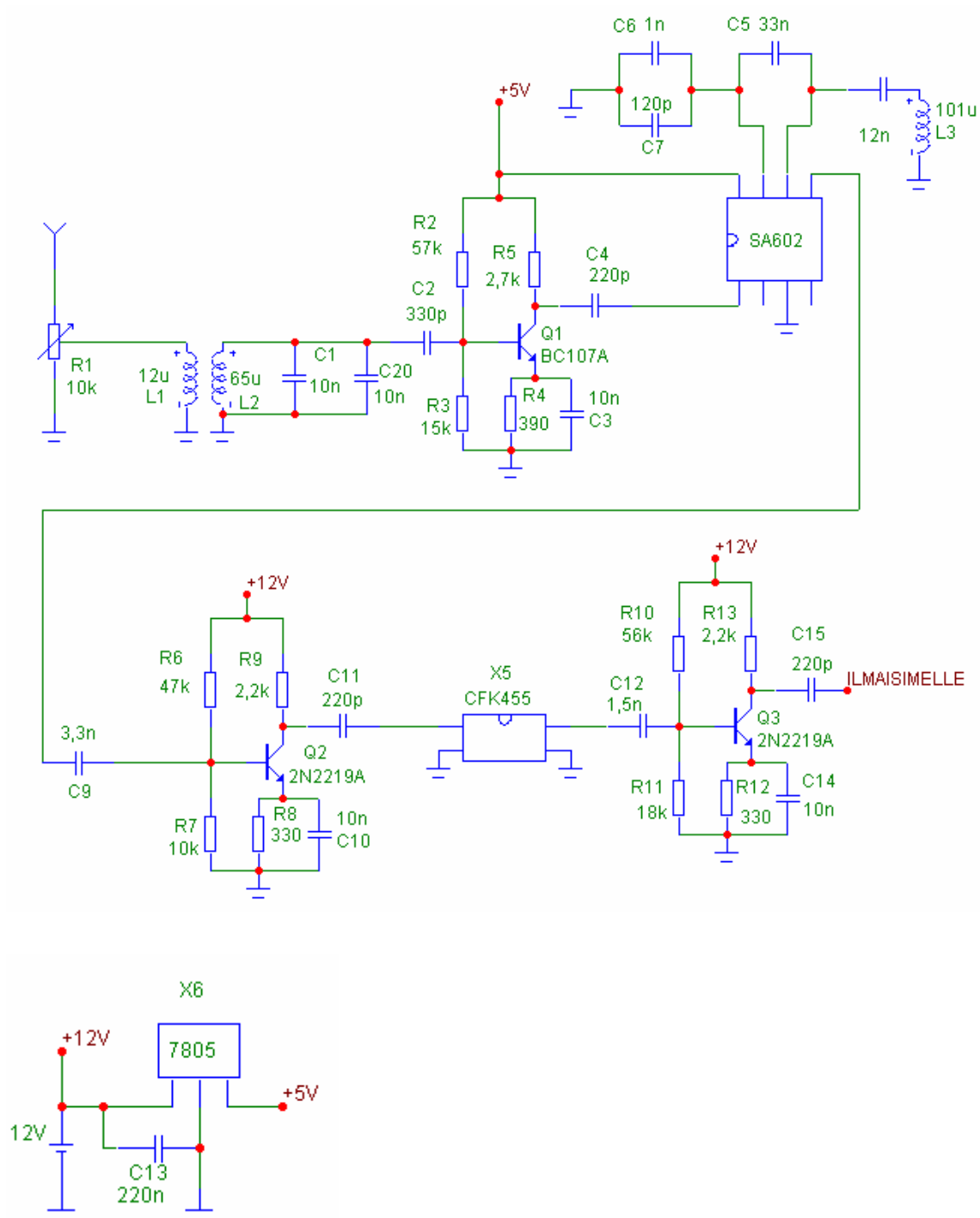
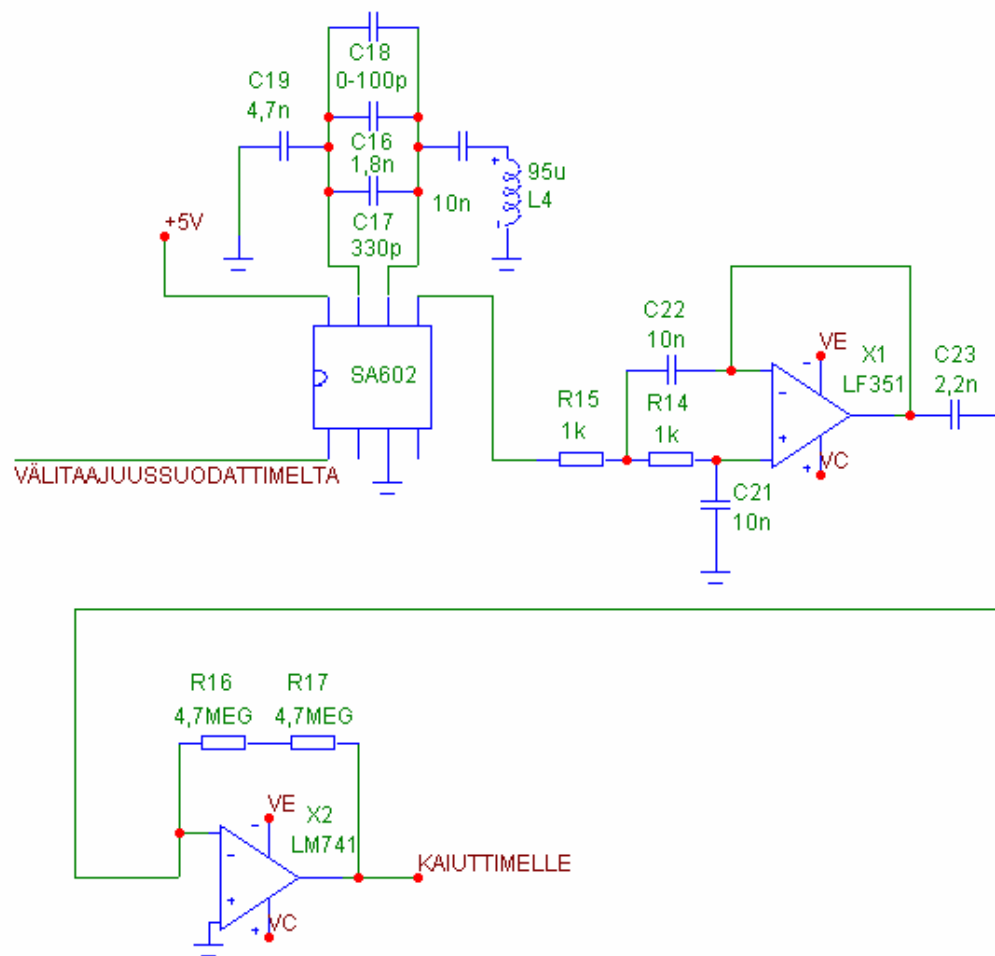


Figure 7. Oscillator Circuits

KOMPONENTTILUETTELO

R1	10 k Ω Potentiometri
R2, R10	56 k Ω
R3	15 k Ω
R4	390 Ω
R5	2,7 k Ω
R6	47 k Ω
R7	10 k Ω
R8, R12	330 Ω
R9, R13	2,2 k Ω
R11	18 k Ω
R14, R15	1 k Ω
L1	12 μ H
L2	65 μ H
L3	101 μ H
L4	95 μ H
C1, C6	1 nF
C2, C17	330 pF
C3, C10, C14, C20, C21, C22	10 nF
C4, C11, C15	220 pF
C5	33 nF
C7	120 pF
C8	12 nF
C9	3,3 nF
C12	1,5 nF
C13	220 nF
C16	1,8 nF
C18	0-100 pF säätökondensaattori
C19	4,7 nF
C23	2,2 nF
X1	Operaatiovahvistin LF351
X2	Operaatiovahvistin LM741
X3, X4	SA602
X5	Keraaminen suodatin 455 kHz
X6	Jänniteregulaattori 7805
Q1	Transistori BC107A
Q2, Q3	Transistori 2N2219A







August 2000

LM741 Operational Amplifier

General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

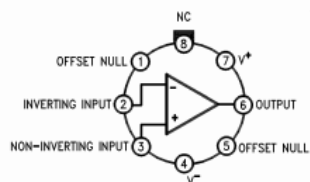
The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Features

LM741 Operational Amplifier

Connection Diagrams

Metal Can Package

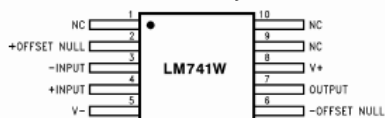


00934102

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

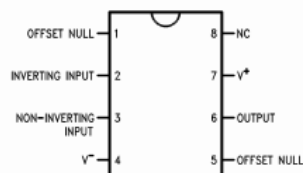
Ceramic Flatpak



00934106

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Dual-In-Line or S.O. Package

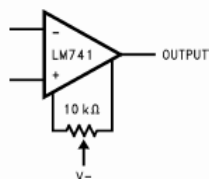


00934103

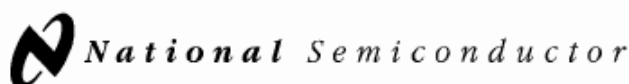
Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Typical Application

Offset Nulling Circuit



00934107



December 1995

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET IIT[™] technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

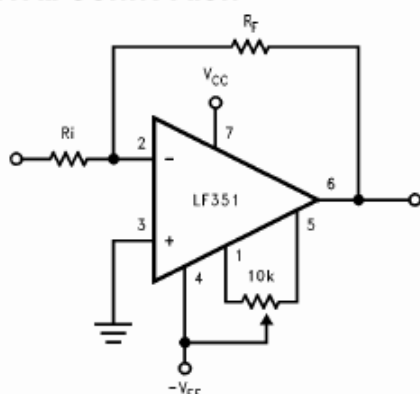
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

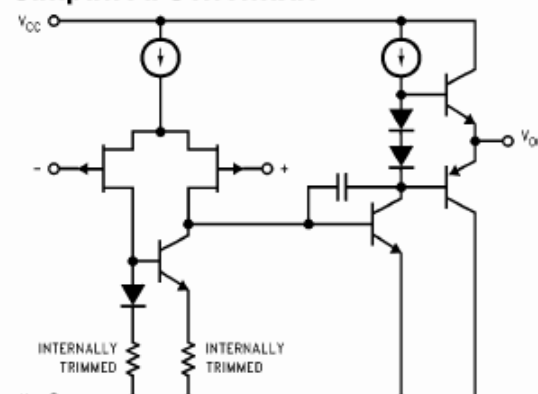
■ Internally trimmed offset voltage	10 mV
■ Low input bias current	50 pA
■ Low input noise voltage	25 nV/√Hz
■ Low input noise current	0.01 pA/√Hz
■ Wide gain bandwidth	4 MHz
■ High slew rate	13 V/μs
■ Low supply current	1.8 mA
■ High input impedance	10 ¹² Ω
■ Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz	< 0.02%
■ Low 1/f noise corner	50 Hz
■ Fast settling time to 0.01%	2 μs

Typical Connection



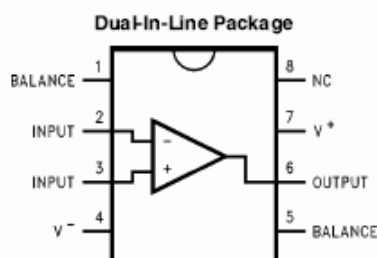
TL/H/5648-11

Simplified Schematic



TL/H/5648-12

Connection Diagrams



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E